耀变体CGRaBS J0929+5013和J2146-1525光变相关性及准周期分析*

陈军平[1,2]，马 力[1]，龚云露[1]，陈志晖[1]，杨 星[2,3]，常 鑫[1]，李 永[1]，易庭丰[1,2]
(1. 云南师范大学物理与电子信息学院，云南 昆明 650500；2. 广西相对论天体物理重点实验室，广西 南宁 530004；3. 广西大学物理科学与工程技术学院，广西 南宁 530004)

摘 要： 我们利用Lomb-Scargle periodogram方法和加权小波Z变换(Weight Wavelet Z-transform)方法分析了耀变体CGRaBS J0929+5013和 J2146-1525在15 GHz射电和伽马波段约12年的观测数据。分析结果表明耀变体CGRaBS J0929+5013和J2146-1525在射电波段可能存在准周期振荡信号。它们的准周期分别为1435天(3.93年)和1321天(3.62年)，且置信度均>3σ(99.7%)；而在伽马波段光变周期性较弱。基于超大质量双黑洞系统中的螺旋喷流模型估算了耀变体CGRaBS J0929+5013和J2146-1525的主黑洞质量M的分别为$4.3\times10^9 M_\odot$和$2.7\times10^9 M_\odot$。为了探讨射电和伽马波段的光变起源，我们用离散相关函数分别计算了耀变体CGRaBS J0929+5013和J2146-1525射电与伽马波段之间的相关性，发现它们之间没有明显的相关性。这表明它们的辐射可能来自不同的区域。

关键词： 耀变体；CGRaBS J0929+5013；CGRaBS J2146-1525；LSP方法；WWZ方法
中图分类号： **文献标识码：** **文章编号：**

活动星系核(Active Galactic Nuclei, AGN)是一类特殊的星系，其上存在超过恒星内部核反应的产能、非热辐射、高能X和伽马射线、物质的喷射等猛烈的活动现象和剧烈的物理过程，其中耀变体（Blazar）是活动星系核的一个子类。耀变体又分为蝎虎座BL型天体（BL Lac）和平谱射电类星体（FSRQ），BL Lac天体和 FSRQ天体的区分依据是发射线的强弱，发射线比较弱或没有的是BL Lac天体，比较强的是FSRQ天体。耀变体具有大幅快速的光变，比较高的辐射偏振和非热连续光谱等特征 [1]。绝大部分的耀变体的光变具有随机性，而具有准周期性光变的耀变体极少，但是也有少数准周期候选体被文献所报道。随着观测技术的提升和数据的积累，不断有新的候选体被发现。其中最著名的是Sillanpaa 等人1988年发现 OJ 287 在光学V波段具有大约12年的周期性爆发[2]。这一周期性爆发现象可以用超大质量双黑洞模型很好地解释。四年后，Kidger M 等人[3]分析了OJ 287光学B波段一百多年的数据，发现B波段爆发周期为11.6 ± 0.5年，证实了Sillanpaa 等人[2]的结论，并预测了下一次爆发最大值出现在1994年8月左右。随后越来越多的科研工作者参与准周期搜寻，Ackermann M 等人[4]发现PG 1553+113在光学和伽马波段具有2.18 ± 0.08年的准周期震荡，Penil P 等人[5]用多种方法分析Fermi Large Area Telescope (LAT)数据，发现11个活动星系核存在准周期震荡，其中9个是首次发现，Yang Xing 等人[6]发现3FGL J0449.4−4350在光学

———————————

*基金项目：国家自然科学基金(11863007)资助; 云南省高校高能天体物理重点实验室项目资助.
收稿日期：
作者简介：陈军平，男，硕士研究生. 研究方向：活动星系核.E-mail：chenjunping2021@163.com
通讯作者：易庭丰，男，博士，副教授. 研究方向：活动星系核. E-mail：yitingfeng98@163.com

和伽马波段存在 450 天左右的准周期震荡，基于超大质量双黑洞模型的基础上估算了其主黑洞质量，约为 $7.7\times10^9 M_\odot$，龚云露等人[7]发现耀变体 CGRaBS J0835+6835 的射电波段存在 560 天左右的光变准周期，并用螺旋喷流模型估算了主黑洞质量在 $3.7\times10^8 M_\odot$~3.5X10^9 $M_\odot$ 之间。

在欧文斯谷射电天文台（Owens Valley Radio Observatory ，OVRO) 40m 射电望远镜和费米伽马射线太空望远镜(Fermi Gamma-ray Space Telescope)的观测数据库中，我们用时间序列分析法进行准周期信号的搜索。搜索结果表明 BL Lac 天体 CGRaBS J0929+5013(4FGL J0929.3 +5014)和 FSRQ 天体 CGRaBS J2146-1525(4FGL J2146.4-1528)可能存在准周期震荡，因此，我们对 J0929+5013 和 J2146-1525 射电和伽马波段的数据做了进一步分析，探究两个波段之间的光变相关性以及辐射机制。J0929+5013(α=09 29 15.4400532384,δ=+50 13 35.987058917)是一颗 z(红移)=0.37039 的天体，在 B、V 波段的流量分别为 0.00049 mJy、0.00069 mJy[8]。J2146-1525(α=21 46 22.97933395,δ=-15 25 43.8856129)是一颗 z(红移)=0.70[9]的天体，在 B、V 波段的流量分别为 0.00030 mJy[8]、0.00045 mJy[8]。本文的结构如下：第一章介绍研究所用的数据；第二章介绍 Lomb-Scargle periodogram (LSP)[11-12]方法和检测结果；第三章介绍加权小波 Z 变换(Weighted Wavelet Z Transform, WWZT)[15-16]方法和检测结果；第四章分析了两个波段的相关性；第五章为结论与讨论。

1 数据分析

我们分别从欧文斯谷射电天文台(Owens Valley Radio Observatory, OVRO) 40m 射电望远镜的官网(https://sites.astro.caltech.edu/ovroblazars/)和费米伽马射线太空望远镜官网(Fermi-LAT, https://fermi.gsfc.nasa.gov/ssc/data/access/lat/10yr_catalog/ap_lcs.php)的观测数据中收集了 J0929+5013(J0929.3+5014)和 J2146-1525(J2146.4-1528)15 GHz 射电波段和 0.1-200 GeV 伽马波段约 12 年左右的数据。OVRO 40 m 望远镜配备了离轴双光束 Dicke-switched 系统以减少不断变化的大气辐射，并在主焦点安装了一个冷却接收器，带宽为 3GHz，中心频率为 15GHz。该望远镜对每个射电源监测频次大约是每周监测两次。伽马射线数据来源于孔径测光法 (测光半径为 1°，最大天顶角 105°)，因此并没有去掉伽马射线背景光子，但是背景光子流量比较稳定，对我们的光变分析的影响可以忽略不计（我们对 J0929+5013 和 J2146-1525 伽马波段的数据用费米工具包处理，得到 7 天 bin、10 天 bin 和 30 天 bin 的数据。用 LSP 方法和加权小波 Z 变换方法计算得到结果基本相同）因此本文选取 30 天 bin 的数据。我们采用光变指数 A 判断天体的活跃程度[7,10]：

$$A = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_{max} + f_{min}}. \tag{1}$$

(1)式中 f_{max} 表示流量的最大值、f_{min} 表示流量的最小值。通过计算可以得到 J0929+5013 和 J2146-1525 射电波段的光变指数分别为 0.55 和 0.35，伽马波段的光变指数分别为 0.53 和 0.46。我们知道光变指数越接近 1，天体越活跃，这表明 J0929+5013 和 J2146-1525 射电和伽马波段比较活跃。图 1 是 J0929+5013 射电和伽马波段的光变曲线，图 2 是 J2146-1525 射电和伽马波段的光变曲线。横坐标为简化儒略日(Modified Julian Day, MJD)，纵坐标为流量及误差（大部分误差很小，图中不能清晰分辨）。

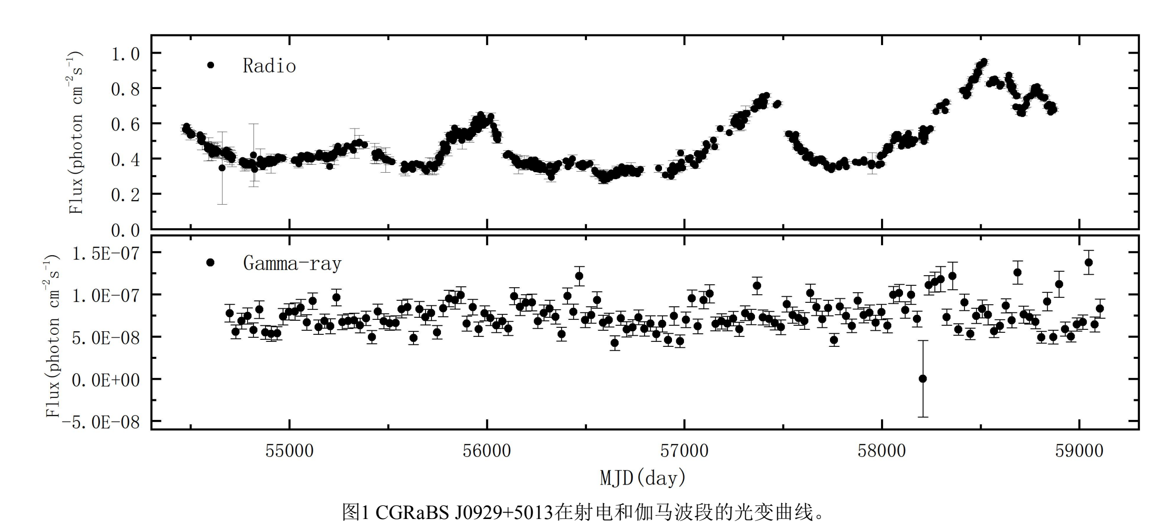
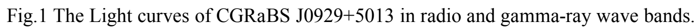


图1 CGRaBS J0929+5013在射电和伽马波段的光变曲线。


Fig.1 The Light curves of CGRaBS J0929+5013 in radio and gamma-ray wave bands.

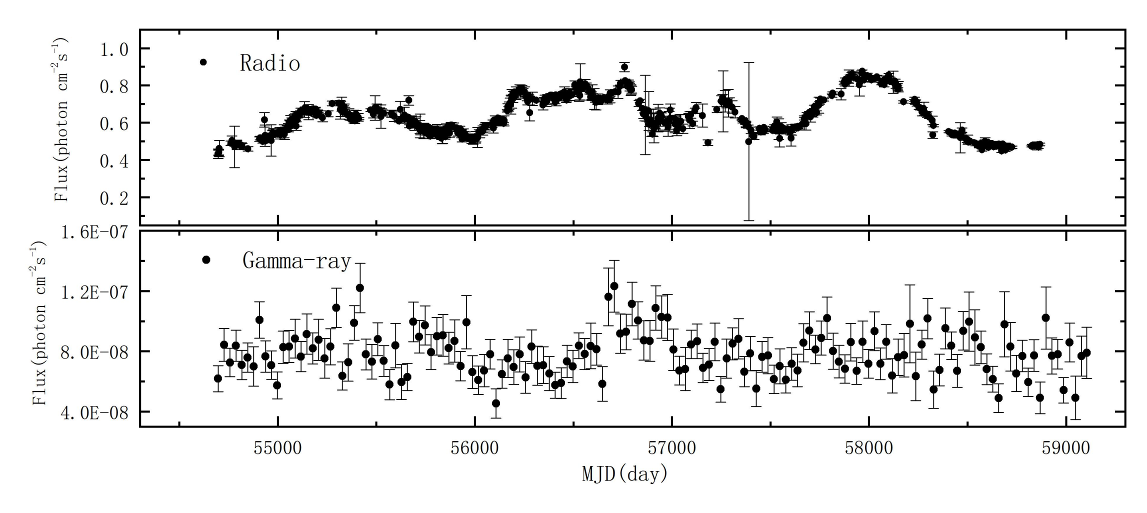


图2 CGRaBS J2146-1525在射电和伽马波段的光变曲线。

Fig.2 The light curves of CGRaBS J2146-1525 in radio and gamma-ray wave bands.

2 LSP周期分析

耀变体的周期性光变研究，对理解其内部辐射的物理机制和辐射区的几何性质有重要意义，Lomb-Scargle periodogram（LSP）方法是基于傅里叶变换，使用正弦函数模型，可以对非均匀采样的时间序列周期图进行相位修正，能够在一定范围内对非均匀采样的时间间隔引起的误报周期进行修正。可以比较好地寻找隐藏在噪声中的准周期振荡。其基本公式[11]为

$$p_x(\omega)=\frac{1}{2}\left\{\frac{\sum_{j=1}^{N}(x(t_j)-\bar{x})\cos\omega(t_j-\tau)}{\sum_{j=1}^{N}\cos^2\omega(t_j-\tau)}+\frac{\sum_{j=1}^{N}(x(t_j)-\bar{x})\sin\omega(t_j-\tau)}{\sum_{j=1}^{N}\sin^2\omega(t_j-\tau)}\right\}, \tag{2}$$

(2)式中，t_j 为时间序列的平均值, N 为数据点的个数, τ 为相应的时间的相位修正:

$$\tan(2\omega\tau)=\frac{\sum_{j=1}^{N}\sin^{2}2\omega t_{j}}{\sum_{j=1}^{N}\cos^{2}2\omega t_{j}}, \tag{3}$$

我们对LSP方法计算的结果用蒙特卡洛模拟进行置信度评估[12]，我们对LSP做对数幂率拟合，得到J0929+5013和J2146-1525在射电和伽马波段的幂率指数β[13]分别为β=0.5、β=0.1；β=0.7、β=0.3。发现幂率指数β值偏小，我们认为主要的原因可能是受白噪声影响，在相当一部分情况下，幂率指数大约为1[14]。

图3和图4分别是J0929+5013和J2146-1525在射电和伽马波段的蒙特卡罗置信度分析结果，其中绿色线表示准周期频率图，峰值就是准周期频率，黑色、红色、蓝色线分别表示蒙特卡罗模拟的2σ(95%)、2.6σ(99%)、3σ(99.7%)置信度曲线。

图3中的(a)、(b)分别表示J0929+5013在射电和伽马波段的蒙特卡罗置信度分析结果；通过计算得到J0929+5013在射电波段有一个1435天（约3.93年）的置信度>3σ水平的准周期。J0929+5013在伽马波段有五个置信度>2σ的峰，其中112天、146天、203约为53.4天（卫星的进动周期）2倍、3倍、4倍，我们推测它们是飞船进动引起的高次谐频，192约为半年，也是一个谐频。我们认为311天可能是伽马波段一个很弱的可能准周期，有待进一步确认。

如图4中的(a)、(b)所示，J2146-1525在射电波段有一个1321天（约3.62年）的置信度>3σ水平的准周期。J2146-1525在伽马波段有三个置信度>2σ的峰，其中108天约为53.4天的2倍，130天约为月亮周期27.3天的4倍。我们认为一个1388天是伽马波段的一个很弱的可能准周期，有待进一步确认。

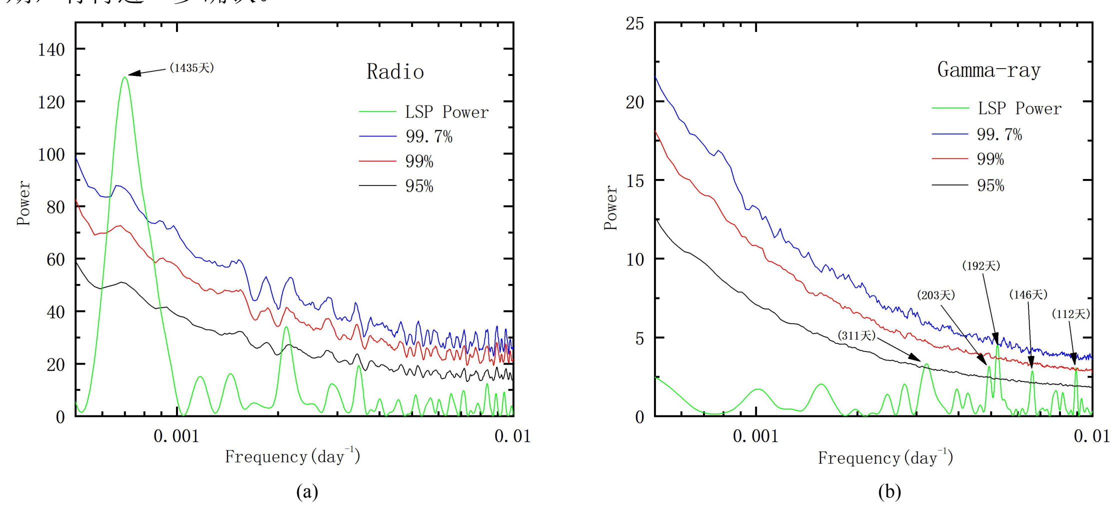


图3 CGRaBS J0929+5013 在射电(β=1)和伽马(β=1)波段准周期震荡的蒙特卡罗置信度分析结果。

Fig.3 The confidence analysis results of quasi periodic oscillation of CGRaBS J0929+5013 in radio(β=1)and gamma-ray(β=1)wave bands by Monte Carlo simulation.

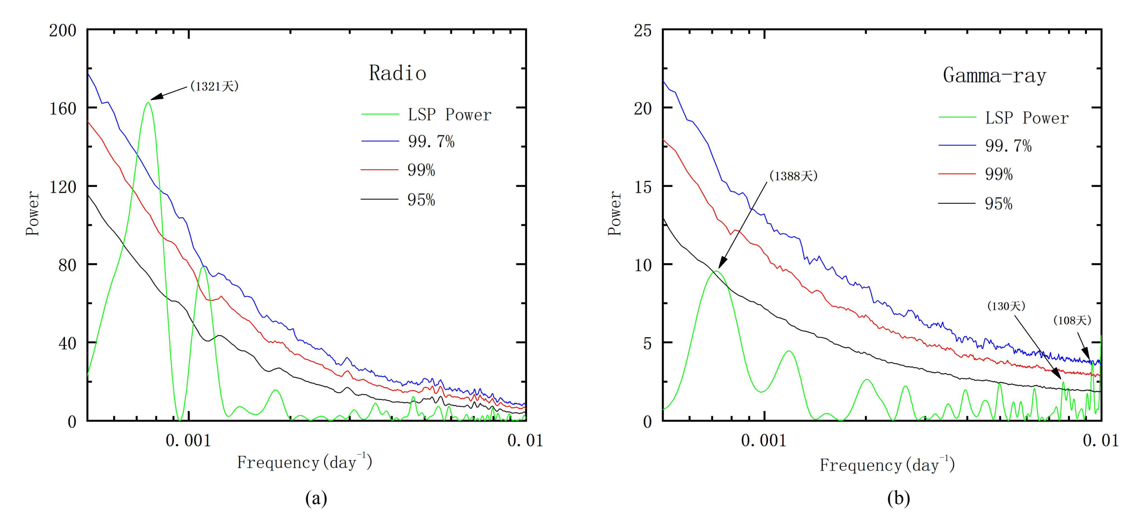


图4 CGRaBS J2146-1525 在射电(β =1.5)和伽马(β =1)波段准周期震荡的蒙特卡罗置信度分析结果。

Fig.4 The confidence analysis results of quasi periodic oscillation of CGRaBS J2146-1525 in radio(β =1.5)and gamma-ray(β =1)wave bands by Monte Carlo simulation.

3 加权小波Z变换周期分析

小波分析(Wavelet Analysis)是一种由傅里叶变换演化而来的分析方法，能将时域和频域局部化，通过平移和伸缩变换可以把小波母函数变为小波函数[15]，(4)式中 a 和 b 分别表示伸缩尺度和平移参数：

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}}\psi(\frac{t-b}{a}), \tag{4}$$

Foster 定义了加权小波变换(WWT)，(5)式中 N_{eff} 为有效数据点个数，V_X 为数据的加权偏差，V_{y} 为模型函数的加权偏差，

$$WWT = \frac{(N_{eff}-1)V_y}{2V_x}, \tag{5}$$

这种原理在低频部分分辨率很高，导致低频部分有效数据 N_{eff} 多于高频部分，所以 WWT 的值倾向于高频部分，因此 Foster 按照 Z 统计量对加权小波 Z 变换[16]进行了定义：

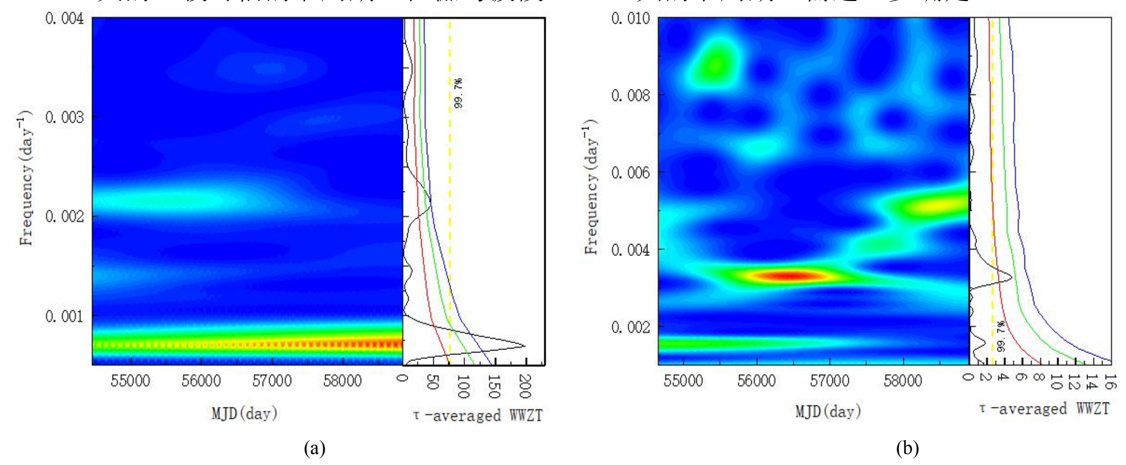
$$Z = \frac{(N_{eff}-3)V_y}{2(V_X - V_y)}, \tag{6}$$

我们根据加权小波 Z 变换的基本原理，编写 python 程序处理 J0929+5013 和 J2146-1525 在射电和伽马波段的数据。图 5 和图 6 中黑色曲线作为周期的函数图，其中红色、绿色、蓝色线分别表示基于红噪声的 2σ、2.6σ、3σ 置信概率线，黄色虚线表示基于白噪声的 99.7% 置信概率线。根据加权小波 Z 变换图中的极大值可以确定光变准周期。

图 5 中(a)、(b)分别表示 J0929+5013 在射电和伽马波段用 WWZ 方法计算的结果，(a)图显示 J0929+5013 在射电波段存在一个置信度>3σ 的极大值 1435.0 天（约 3.93 年），且(b)图显示 J0929+5013 在伽马波段存在一个置信度>2σ 的极大值 306.7 天（约 0.84 年）；

J0929+5013 在射电和伽马波段基于白噪声的置信度都>3 σ，这是一个比较强的假设。我们认为 J0929+5013 在射电波段存在一个 1435.0 天的比较可信的准周期，在伽马波段 306.7 天的准周期还需进一步确定。

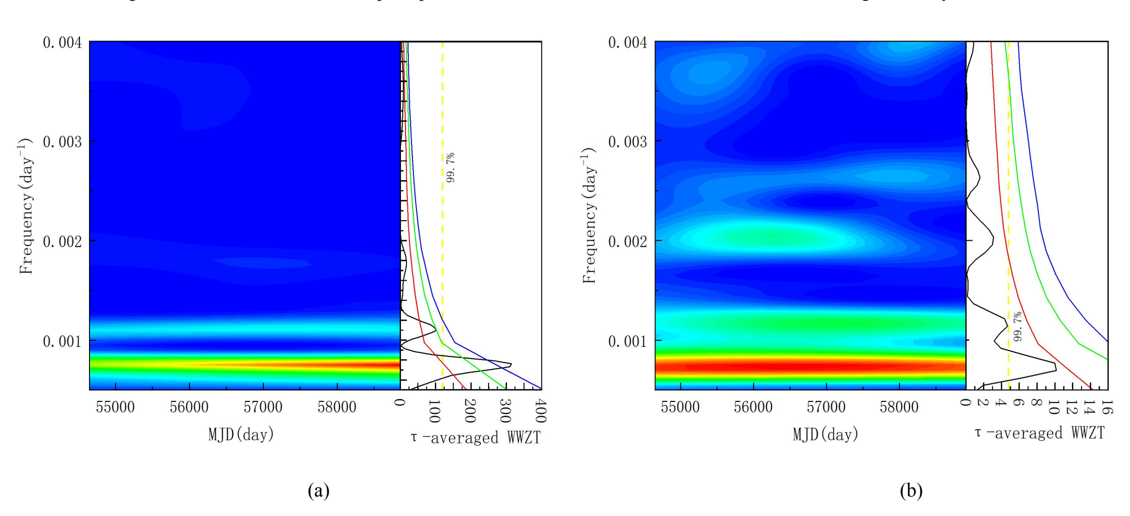
如图 6 中的(a)、(b)所示，J2146-1525 在射电波段存在一个置信度>3 σ 的极大值 1320.5 天（约 3.61 年），J2146-1525 在伽马波段存在一个极大值 1384.8 天（约 3.80 年）；J2146-1525 在射电和伽马波段基于白噪声的置信度都>3 σ。我们认为 J2146-1525 在射电波段存在一个 1320.5 天的比较可信的准周期，在伽马波段 1384.8 天的准周期还需进一步确定。



(a) (b)

图5 WWZT方法对CGRaBS J0929+5013 在射电和伽马波段准周期震荡的分析结果。

Fig.5 The WWZT test result for quasi periodic oscillation CGRaBS J0929+5013 at radio and gamma-ray wave bands.



(a) (b)

图6 WWZT方法对CGRaBS J2146-1525 在射电和伽马波段准周期震荡的分析结果。

Fig.6 The WWZT test result for quasi periodic oscillation search CGRaBS J2146-1525 at radio and gamma-ray wave bands.

4 相关性分析

上面我们已经用不同的方法计算了J0929+5013和J2146-1525在射电和伽马波段的准周期，那么同一个天体不同波段的光变有没有相关性呢？为了研究这个问题，我们用离散相关分析方法分别对J0929+5013和J2146-1525的射电和伽马波段数据做相关性分析。离散相关函数(Discrete Correlation Function, DCF)比较适合分析时域分布不均匀的天文观测数据 [17]，基本公式为：

$$UDCF_{ij} = \frac{(a_i - \bar{a}) \times (b_i - \bar{b})}{\sigma_a - \sigma_b} \quad , \tag{7}$$

(7)式中 $\overline{a}$ 和 $\overline{b}$ 分别表示两组数据的平均值，σ_a 和 σ_b 为两组数据的标准偏差。

$$DCF(\tau)=\frac{1}{M}\sum UDCF_{ij} \quad , \tag{8}$$

将(7)式代入(8)式中，得到了相关系数。

图7、图8分别是J0929+5013射电和伽马波段、J2146-1525射电和伽马波段的相关性分析结果，从图中可以看出相关系数DCF的最大值仅为0.32和0.30，相关性在0.5-1之间我们才认为两者可能存在相关性，因此J0929+5013射电和伽马波段、J2146-1525射电和伽马波段没有明显的相关性，我们认为两个波段的辐射可能来自不同的区域

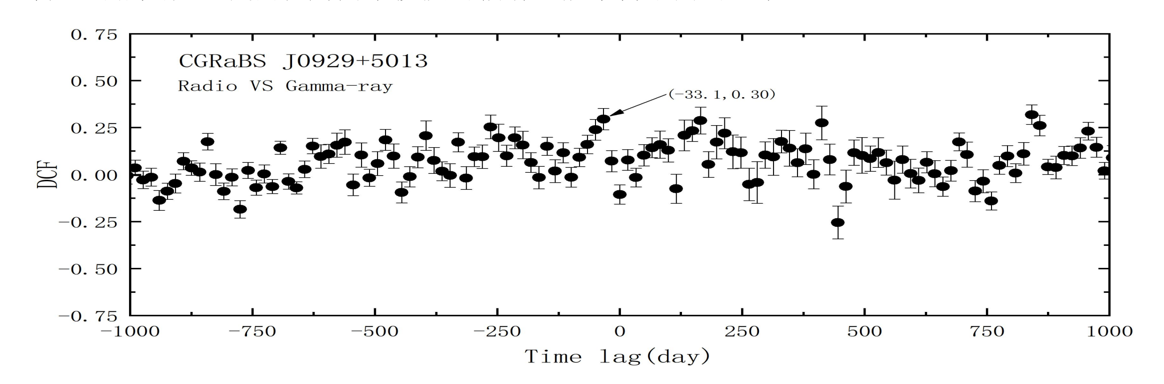


图7 CGRaBS J0929+5013在射电和伽马波段相关性分析结果。

Fig.7 The DCF analysis result of CGRaBS J0929+5013 in radio and gamma-ray wave bands.

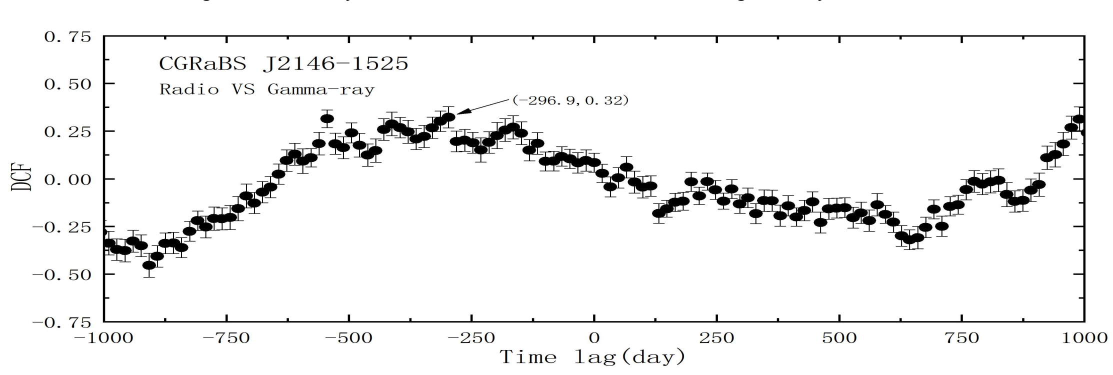


图8 CGRaBS J2146-1525在射电和伽马波段相关性分析结果。

Fig.8 The DCF analysis result of CGRaBS J2146-1525 in radio and gamma-ray wave bands.

5 讨论与结论

我们用LSP方法和加权小波Z变换方法对J0929+5013和J2146-1525射电和伽马波段的数据进行分析，得到J0929+5013在射电波段存在一个置信度>3σ约1435天的准周期光变，在伽马波段存在置信度>2σ的很弱的309天左右的准周期，用DCF方法分析两个波段的相关性，发现这两个波段没有明显的相关性，我们认为两个波段的辐射来自不同的区域。J0929+5013在射电波段存在一个置信度>3σ约1321天的准周期光变，在伽马波段也存在一个很弱的1385天的可能准周期光变，同样，我们用DCF方法对两个波段的数据做相关性分析，分析结果表明这两个波段的相关性也很弱。由于数据点有限，以及光变曲线的时间跨度不够长，大约只有所测QPO时标的四倍，我们给出的只是两个QPO候选体。耀变体中QPO 是非常罕见的，因此需要更长时间和更多的数据来证实。

对于耀变体的准周期振荡（QPO）的起源和理论解释都还存在争议。目前，主要的解释

有三种；第一种双黑洞引起的螺旋喷流模型[18]，第二种单黑洞的吸积盘脉动模型[19]，第三种单黑洞引起的喷流进动模型[20]。我们基于双黑洞的螺旋喷流模型对J0929+5013和J2146-1525的质量做了估算，根据 Rieger 在2004年[21]给出了观测运动准周期P与实际物理驱动周期 P_d 之间的关系。

$$p_d \approx \frac{\gamma_b^2}{1+z}p \qquad (8)$$

（8）式中γ_b为体洛伦兹因子约等于 7.5[22]， P 的单位为年，我们用比较可信的射电波段的观测准周期，它们分别为3.93年和3.62年，红移分别为0.37和0.70。J0929+5013和J2146-1525的实际物理驱动周期分别为 P_d 分别为161.36yr和119.78yr。如果主黑洞和次黑洞之间的质量比R≤1/3，称之为“主并合”（major merger）。如果3≤R≤10^4,称之为“次并合”(minor merger)[23]。主黑洞的质量估算公式为[24]：

$$M \approx P_d^{\frac{8}{5}}R^{\frac{3}{5}}10^6 M_\odot \qquad (9)$$

（9）式中，假设主次黑洞质量比为R=3/2。把参数代入（9）式，得到J0929+5013和 J2146-1525主黑洞质量M 分别约为 $4.3\times10^9 M_\odot$ 和 $2.7\times10^9 M_\odot$ 同理，如果使用γ_b=15[25]作为参数，次并合的 SMBBH 系统的主黑洞质量分别为 $4.0\times10^{10} M_\odot$ 和 2.5×10^{10} $M_\odot$。故取 J0929+5013和 J2146-1525 主黑洞质量M 分别为 $4.3\times10^9 M_\odot$ 和 2.7×10^9 $M_\odot$。

参考文献：

[1] URRY C M, PADOVANI P. Unified schemes for radio-loud Active Galactic Nuclei [J]. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 1995, 107: 803-845.

[2] SILLANPAA, HAARALA, VALTONEN, et al. OJ 287 - Binary pair of supermassive black holes [J]. Astrophysical Journal, 1988, 325(2):628-634.

[3] KIDGER M, TAKALO L, SILLANPAA A. A new analysis of the 11-year period in OJ287 - Confirmation of its existence [J]. Astronomy & Astrophysics, 1992, 264(1):32-36.

[4] ACKERMANN M, AJELLO M, et al. Multiwavelength Evidence for Quasi-periodic Modulation in the Gamma-Ray Blazar PG 1553+113 [J]. The Astrophysical Journal Letters, 2016, 831(2):8-41.

[5] PENIL P, DOMINGUEZ A, et al. Systematic Search for γ-Ray Periodicity in Active Galactic Nuclei Detected by the Fermi Large Area Telescope [J]. The Astrophysical Journal, 2020, 896(2):11-134.

[6] YANG X, Yi T F, ZHANG Y, et al. The γ-Ray and Optical Variability Analysis of the BL Lac Object 3FGL J0449.4−4350 [J]. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 2020, 132(1010):1538-1548.

[7] 龚云露,易庭丰,杨星,常鑫,李永.耀变体CGRaBS J0835+6835的射电准周期振荡及多普勒因子分析[J].天文研究与技术,2021,18(02):145-152.

[8] VERON-CETTY M.-P, VERON P. A catalogue of quasars and active nuclei: 13th edition [J]. Astronomy and Astrophysics, 2010, 518(4-6361).

[9] TRUEBENBACH A E, DARLING J. The VLBA Extragalactic Proper Motion Catalog and a Measurement of the Secular

Aberration Drift [J]. Astrophysical Journal Supplement, 2017, 233(1):3.
[10] LI H Z, XIE G Z, CHEN L E, et al. the periodicity analysis of the light curve of 3c 279 and implications for the precession jet [J]Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 2009,121:1172-1179.
[11] LOMB N R. Least-squares frequency analysis of unequally spaced data [J]. Astrophysics & Space Science, 1976, 39(2):447-462.
[12] REJKUBA M, MINNITI D, SILVA D R, et al. Long Period Variables in NGC 5128: II. Near-IR properties [J]. Astronomy & Astrophysics, 2003, 411(3).
[13] TIMMER J, KOENIG M. On generating power law noise [J]. Astronomy & Astrophysics, 1995, 300:707--710.
[14] COVINO S, SANDRINELLI A, TREVES A. Gamma-ray quasi-periodicities of blazars. A cautious approach [J]. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2019, 482(1): 1270-1274.
[15] GROSSMANN A, MORLET J. Decomposition of Hardy Functions into Square Integrable Wavelets of Constant Shape [J]. Siam Journal on Mathematical Analysis, 1984, 15(4): 723-736.
[16] FOSTER G. Wavelets for period analysis of unevenly sampled time series [J]. Astronomical Journal, 1996, 112(4):1709.
[17] 龚云露,易庭丰,杨星.平谱射电类星体3C 273在γ射线、射电和光学波段的相关性分析[J].玉溪师范学院学报,2019,35(06):69-73.
[18] VALTAOJA E, TERSRANTA H, TORNIKOSKI M, et al. Radio Monitoring of OJ 287 and Binary Black Hole Models for Periodic Outbursts [J]. Astrophysical Journal, 2008, 531(2):744.
[19] WALLINDER F H, KATO S, ABRAMOWICZ M A. Variability of the central region in active galactic nuclei [J]. Astronomy & Astrophysics Review, 1992, 4(2):79-122.
[20] MARSCHER A P. Contemporaneous X-ray and VLBI radio observations of the quasar NRAO 140 [J]. The Astrophysical Journal, 1988, 334(2).
[21] LHTEENMKI A, VALTAOJA E, WIIK A K. Total Flux Density Variations in Extragalactic Radio Sources II. Determining the Limiting Brightness Temperature for Synchrotron Sources [J]. The Astrophysical Journal, 2009, 511(1):112-117.
[22] HENRI G, SAUGE L. The bulk Lorentz factor crisis of TeV blazars: evidence for an inhomogeneous pileup energy distribution [J]. The Astrophysical Journal, 2006, 640(1):185-216.
[23] BEGELMAN M C, BLANDFORD R D, REES M J. Massive black hole binaries in active galactic nuclei [J]. Nature, 1980, 287(5780):307-309.
[24] LEE W H, ABRAMOWICZ M A, KLUZNIAK W. Resonance in Forced Oscillations of an Accretion Disk and Kilohertz Quasi-periodic Oscillations [J]. Astrophysical Journal Letters, 2004. 603:L93–L96.
[25] GUINEVERE K, MARTIN H. A unified model for the evolution of galaxies and quasars [J]. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2000, 311(3):576-588.

Correlation and Quasi-Periodic Oscillation Analysis of Light Variation in Blazar CGRaBS J0929+5013 and J2146-1525

Chen Junping[1,2], Ma Li[1], Gong Yunlu[1], Chen Zhihui[1], Yang Xing[2,3], Chang Xin[1], Li Yong[1], Yi Tingfeng[1,2]

(1.School of physics and electronic information, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China, yitingfeng98@163.com; 2. Guangxi Key Laboratory for the Relativistic Astrophysics, Nanning 530004, China; 3.School of Physical Science and Engineering Technology, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: We used the Lomb-Scargle periodogram (LSP) and the weighted wavelet Z-transform (WWZ) methods to analyze the observational data of the blazars CGRaBS J0929+5013 and J2146-1525 at the 15 GHz radio and gamma-ray bands for about 12 years. The result of analysis showed that the blazars CGRaBS J0929+5013 and J2146-1525 probably have a quasi-periodic oscillations (QPOs) of about 1435 days (3.93 years) and 1321 days (3.62 years) in the radio band, respectively, with a confidence level of >3 σ (99.7%). However, the periodicity of the light curve of the gamma band is weaker. Based on the spiral jet model in the supermassive dual black hole system, the primary black holes masses M of the blazars CGRaBS J0929+5013 and J2146-1525 are estimated to be $4.3\times10^9\ M_\odot$ and $2.7\times10^9\ M_\odot$, respectively. In order to explore the origin of optical variation in radio and gamma-ray bands, we calculated the correlation between the blazar CGRaBS J0929+5013 and J2146-1525 radio and the gamma band using the discrete correlation function, and found that there is no obvious correlation between them. This result indicate that the radiation may come from different areas.

Keywords: Blazar; CGRaBS J0929+5013; CGRaBS J0835-6835; LSP Method; WWZ Method